

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Fakultet ekonomije i turizma

<<Dr. Mijo Mirković>>

**DENI LAKOBRIJA**

**PROGRAMIRANJE ZVUKA U VIDEO IGRAMA**

Završni rad

Pula, 2015.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Fakultet ekonomije i turizma

<<Dr. Mijo Mirković>>

**DENI LAKOBRIJA**

**PROGRAMIRANJE ZVUKA U VIDEO IGRAMA**

Završni rad

**JMBAG: 0303032898, redoviti student**

**Studijski smjer: Informatika**

**Predmet: Elektroničko poslovanje**

**Mentor: Prof.dr.sc. Vanja Bevanda**

**Mentor: Dr.sc. Darko Etinger**

Pula, Lipanj 2015.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani \_\_\_\_\_, kandidat za prvostupnika

\_\_\_\_\_ ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je napisan iz kojeg necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

U Puli, \_\_\_\_\_ 2015.

Student:

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK .....</b>	<b>1</b>
<b>UVOD .....</b>	<b>3</b>
<b>1. OSNOVE ZVUKA .....</b>	<b>4</b>
1.1 Povijest zvuka u video igrama .....	5
1.2. Prilagođavajući i interaktivni audio .....	7
1.3. Programi za implementaciju zvuka u sliku .....	8
1.4. Razvoj događaja .....	10
<b>2. OSNOVE OBRADJE ZVUKA U OKRUŽENJU ZA DIGITALNI AUDIO .....</b>	<b>11</b>
2.1. Panorama .....	12
2.2. Frekvencijsko procesiranje .....	13
2.3. Anatomija EQ .....	15
2.4. Dinamičko procesiranje .....	17
<b>3. RAD U OKRUŽENJU OBRADJE ZVUKA ZA VIDEO IGRE .....</b>	<b>20</b>
3.1. Fmod Studio .....	22
<b>4. FAZE DIZAJNA ZVUKA .....</b>	<b>24</b>
4.1. Pred – produkcija .....	24
4.2. Produkcija .....	25
4.2. Post – produkcija .....	26
<b>5. IZRADA PROJEKTA .....</b>	<b>27</b>
5.1. Definiranje zvukova .....	27
5.2. Produkcija zvukova .....	29
5.3. FMOD Post – produkcija .....	32
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>37</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>38</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>41</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>42</b>

## SAŽETAK

Razvojem video igara čije trajanje nije moguće predvidjeti buduće da ovisi o potezima igrača, ukazala se potreba za prilagodbom zvuka potezima korisnika te njegovom integracijom u middleware.

Pojašnjeni su osnovni pojmovi, razlike između linearnog i nelinearnog zvuka, metode korištene u radu, procesiranje zvuka, alati i uređaji za snimanje. Definirane su faze dizajna zvuka koje se dijele na pred produkciju, produkciju i post produkciju. Pojašnjen je postupak kreiranja zvuka gdje postoje četiri podgrupe: ambijent, efekti, dijalozi i muzika, a sve njih kreira dizajner zvuka. Priložen je scenarij za video igru kako bi se dočarala funkcija zvuka u video igri.

Cilj ovog rada je dočarati važnost zvuka i njegove dinamike u video igri te kako brzo i efikasno izraditi zvuk koristeći FMOD Studio. Pojašnjen je postupak i metode u nastajanju svakog zvuka te je prikazan projekt u FMOD Studiju.

## **ABSTRACT**

With today's game development, it is not possible to predict the duration of a game. Every sound has to be designed as a stand alone and has to be middleware integrated, because a designer can't predict one of a hundred possible actions a player can make.

This paper helps a reader understand the basics of game sound, difference between linear and non linear sound, methods used, sound processing, tools and devices for recording sound. Three phases of sound design are defined, which are: pre production, production and post production. The basic process of sound creation is explained and divided into four major groups: ambience, effects, dialog and music. Each of these sound groups are created by a sound designer.

Purpose of this paper is to provide the basic knowledge of game sound, it's dynamics and integration within FMOD Studio. After the process and methods of creation of each sound are defined, FMOD Studio project is explained.

## UVOD

Tema ovog rada je programiranje zvuka u video igrama pomoću middlewarea. Middleware je sloj softvera koji omogućuje međusobnu razmjenu informacija između operacijskog sustava i aplikacije.

Osnovni cilj je prikazati kako jednostavno, brzo i efikasno izraditi zvuk za video igre, koristeći FMOD Studio odnosno interaktivni audio middleware te važnost dinamike zvuka za video igru.

Znanstvene metode korištene u ovom radu su metode klasifikacije i analize u svrhu razlučivanja općih pojmova na srodne pojmove te proučavanja međusobnih povezanosti elemenata. Matematička metoda je korištena kako bi se prikazalo teorijsko simuliranje pojava poput kalkulacije puta zvuka. Induktivnom se metodom stvara zaključak na temelju pojedinačnih podataka.

Rad je podijeljen na šest dijelova. Nakon uvoda slijedi prvo poglavlje, gdje su pojašnjeni osnovni pojmovi poput zvuka, MIDI-a, dinamičkog audija, razlike između linearnog i nelinearnog zvuka te povijest zvuka.

U drugom poglavlju se govori o obradi zvuka u okruženju za digitalni audio. Prvo su pojašnjene digitalne audio stanice, a nakon toga pozicioniranje zvuka i razlika između mono i stereo zvučnog sustava. Zatim su prikazani podaci u svrhu razumijevanja frekvencijskog procesiranja i anatomije ekvilajzera, nakon čega se prelazi na dinamičko procesiranje što obuhvaća manipulaciju dinamike.

Treće poglavlje daje podatke o alatima i uređajima za snimanje zvuka, FMOD Studiju, detekciji puta zvuka i kalkulaciji puta zvuka. Prikazan je primjer modeliranja razmnožavanja zvuka kao i PEMARD model.

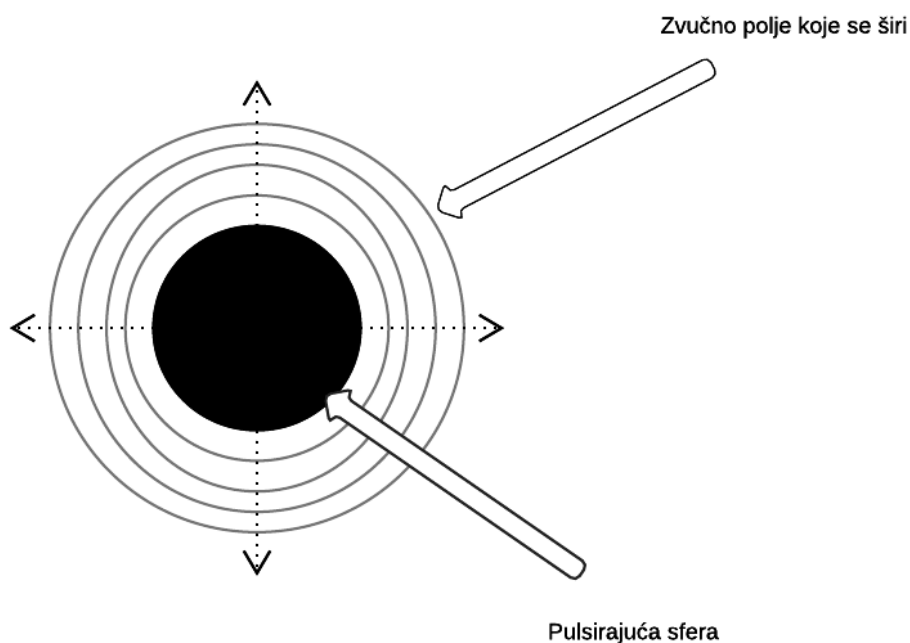
Četvrto poglavlje definira tri faze dizajna zvuka odnosno pred produkciju, produkciju i post produkciju kako bi se prikazao proces dizajna zvuka počev od definiranja zvuka do obrade zvuka u DAW-u i integracije zvuka u middlewareu.

Peto poglavlje je projekt gdje je priložen scenarij video igre, koji je smišljen kako bi se dočarala funkcija zvuka u video igri. Detaljno je pojašnjeno nastajanje svih zvukova te način snimanja istih te naposljetku prikazan projekt u FMOD Studiju.

## 1. OSNOVE ZVUKA

U ovom poglavlju su pojašnjene osnove zvuka od jednostavnijih do složenijih pojmova, kao i razvoj zvuka, kako bi se razumio koncept rada sa zvukom za video igre.

Zvuk je sve ono što čujemo, prouzročen titranjem tijela odnosno izvora zbog kojeg se zrak oko tijela pomiče. Na slici jedan je kao primjer prikazana pulsirajuća sfera, nešto poput lopte za skvoš. Kada pulsira, oscilira između manje i veće veličine od njene originalne. Kako pulsira, tako naizmjenično sažima, a zatim razrjeđuje zrak koji ju okružuje, što rezultira nizom takvih radnji i stvara valove (Rumsey & McCormic, 2009).



Slika 1. Pulsirajuća sfera koja stvara sferne valove

Izvor: Rumsey, F., & McCormick, T. (2009). Sound and Recording, str. 2.

Kroz različite izvore ili medije, zvuk se kreće različitim brzinama. Visina zvuka se naziva frekvencijom zvuka, a mjerna jedinica je herc (Hz).



## 1.1. POVIJEST ZVUKA U VIDEO IGRAMA

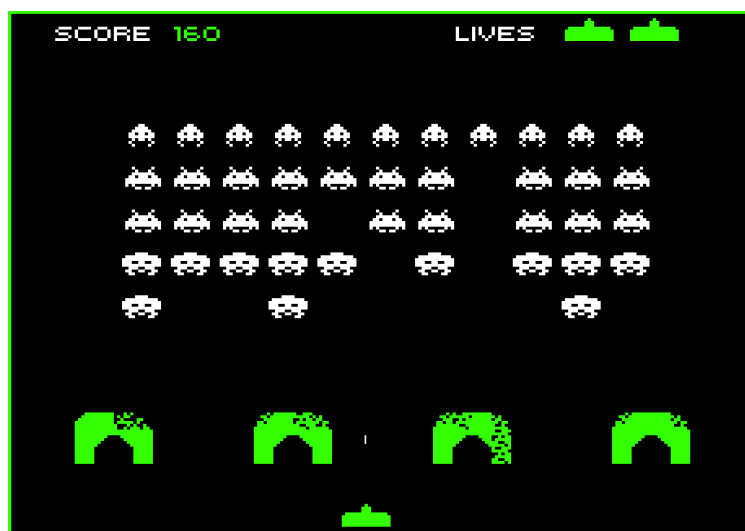
Zvuk se povezao sa igrama pojavom uređaja za kockanje koji je izumio Charles August Fey. Iako je prvi uređaj izumljen 1894. godine, uređaj koji je prvi put stvarao zvuk, proizveden je 1907. Kada bi se odigrala pobjednička kombinacija uređaj bi počeo zvoniti, a ljudima je bio fascinantant zvuk zveckanja dolara i centa, koji im je davao osjećaj uspjeha i pobjede (Collins, 2008).

Prva konzola koja je proizvodila digitalni audio bila je „Atari 2600“ koju je 1977. godine izumila tvrtka Atari. Konzola je imala dvokanalni zvuk, procesor MOS 6507 na 1,19 Mhz, grafičku razlučivost 160x192 piksela i ram od 128 bajtova.

1980. godine tvrtka Atari je licencirala arkadnu igru „Space Invaders“, koja je prodana u dvadeset i pet milijuna primjeraka. To je bila prva video igra u kojoj je dinamika zvuka imala utjecaja na igrača u smislu motivacije – što je zvuk dinamičniji situacija je napetija.

„Space Invaders“ je igra u kojoj izvanzemaljci napadaju brod kojim upravlja igrač. Svaki puta kada neprijatelji izvrše kretanju s jedne strane na drugu, sve su bliže brodu, a muzika se ubrzava. Dinamika igre utječe na igrača i stvara mu osjećaj da mora brže funkcionirati kako bi pobijedio čime se stvara zvučna iluzija (King & Krzywinska, 2006).

Na slici je prikazan isječak iz igre.



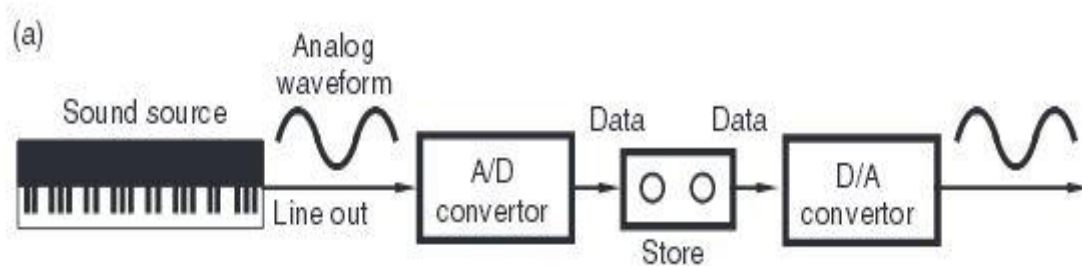
Slika 2. Isječak iz igre „Space Invaders“

Izvor: <https://www.nodebox.net/node/documentation/concepts/subnetworks.html>

Programeri su zvuk koristili samo kao efekt, sve do pojave igre „Metroid“ 1980.-ih godina, kada se javlja muzika za video igre (engl. Game music). Dizajneri zvuka se počinju međusobno natjecati i stvarati melodije za igre, ali se nisu sve melodije dobro povezivale s atmosferom u igri. Dizajn zvuka za Metroid je bio drugačiji jer je samo igrač koji je pobijedio igru, imao privilegij čuti melodiju (Tanaka, 2002).

1983. godine Dave Smith predstavlja MIDI, komunikacijski protokol koji omogućuje digitalnim instrumentima i kompjutorima međusobnu interakciju. MIDI sadrži informacije koje točno govore instrumentu kada da svira koju notu. MIDI podatak ne sadrži zvuk, već naredbe koje opisuju note. Osnovna jedinica komunikacije je bajt, a svaka komunikacija ima drugačiju MIDI sekvencu. Prvi bajt je bajt statusa, koji uređaju govori koju funkciju treba obaviti. Bajt statusa koristi MIDI kanal s kojim komunicira, a naizmjenično može ići kroz šesnaest kanala (Hervas, 2010).

Međutim, digitalni audio nije isto što i MIDI. Na slici tri je prikazan digitalni audio, odnosno proces gdje je zvučni val simpliran i pretvoren u niz binarnih riječi. Na slici četiri je prikazan MIDI, koji za razliku od digitalnog zvuka vrši kontrolu digitalnih informacija koje kontroliraju generiranje zvuka.



Slika 3: Digitalni audio

Izvor: Rumsey, F., & McCormick, T. (2009). Sound and Recording, str. 402



Slika 4: MIDI

Izvor: Rumsey, F., & McCormick, T. (2009). Sound and Recording, str. 402

## 1.2. PRILAGODAVAJUĆI I INTERAKTIVNI AUDIO

Kada bi sve igre imale linearni zaplet muzika bi započinjala na početku igre, te bi se producirala sve do kraja. Linearan zvuk se komponira od startne točke i postepeno napreduje do slijedeće točke, a kompozitor ima potpunu kontrolu nad vremenskom crtom određene kompozicije, gdje može stvarati, primjerice, dramatičnu crtu i nastaviti emociju (Peerdeman, 2006). To je idealno za igre poput puzla i sportskih igara, koje nisu ni imale muziku. Međutim igre za platforme kao što su „Xbox“ i „Playstation“ se igraju u prosjeku četrdeset sati, i niti jedna igra nema toliko dugačku audio traku. Idealna audio traka se treba interpretirati i prilagoditi svakoj situaciji u igri. Dok je radnja u filmu točno definirana (kao i muzika), video igra nije, nema točno trajanje i ovisi o potezima igrača (Baccigalupo, 2003).

Kod nelinearnog zvuka svaki audio znak mora biti dizajniran sam za sebe (engl. Stand alone), jer je nemoguće predvidjeti sve mogućnosti njegova kretanja. Zvuk za video igre se razlikuje od filma jer je u filmu točno određen slijedeći događaj, dok u igri nije.

Interaktivni zvuk se odnosi na događaj koji se javlja kao reakcija na iskustvo (engl. Gameplay), koji odgovara direktno korisniku. Osnovno pravilo interaktivnog zvuka je da se svaka napravljena promjena u zvučnoj traci mora uklopiti s bilo kojim drugim muzičkim dijelom u bilo kojem vremenu. Igrači su nepredvidljivi, i ne zna se kada će trčati, hodati, izvući oružje ili napraviti bilo koju drugu, od stotine mogućih radnji. Interaktivni zvuk je pripremljen za svaku mogućnost (Marks, 2009). Interaktivni audio se najčešće nalazi u FPS (engl. First person shooter) igrama, jer strategija igre uključuje kretanje u 3D prostoru gdje su igrači konstantno prisiljeni mijenjati način na koji igraju, što znači izbjeci, sakriti se, ganjati ili napasti neprijatelja (Fish, 2003).

Audio koji se adaptira u stvarnom vremenu zove se prilagođavajući audio (engl. Adaptive) koji reagira na određeni događaj, a ne odgovara direktno korisniku. Primjer prilagođavajućeg zvuka je „Space invaders“ gdje tempo ide jednim tijekom sve dok se protivnik ne približi na određenu udaljenost od korisnika, a onda se tempo ubrzava.

Dinamički audio je audio koji reagira na promjene u okruženju ili kao odgovor korisniku. Primjer dinamičkog audija je kada igra započinje po danu gdje se u pozadini svira jedna tema, zatim kada dođe noć melodija prestaje i vraća se tek kada opet dođe dan. Zove se dinamički jer korisnik ne može birati kada će početi ovakva melodija, jedino što može je čekati „novi dan“. Primjer ovakvog događaja je igra „Legend of Zelda“ (Collins, 2004).

### 1.3. PROGRAMI ZA IMPLEMENTACIJU ZVUKA U SLIKU

Za implementaciju zvuka u sliku jedan od kvalitetnijih programa je „Unity“. Također postoje još neki poput „Unreal Engine“, „Cry Engine“ i „Game Maker Studio“. Svi ti programi imaju besplatnu verziju, iako je za kvalitetan rad potrebno kupiti originalnu.

Ti programi su namijenjeni izradi interaktivnih i kvalitetnih igara. Unity ima mogućnost importiranja audio datoteka (WAV, MP3, WMA.), iako postoji nekoliko detalja koje je potrebno znati kada se radi s audio datotekama. Audio u Unity-u je autohton ili kompresiran. Autohtoni audio (WAV, AIFF) se koristi za kratke efekte zvuka, audio podaci su veći, ali se pri pokretanju ne dekodiraju.

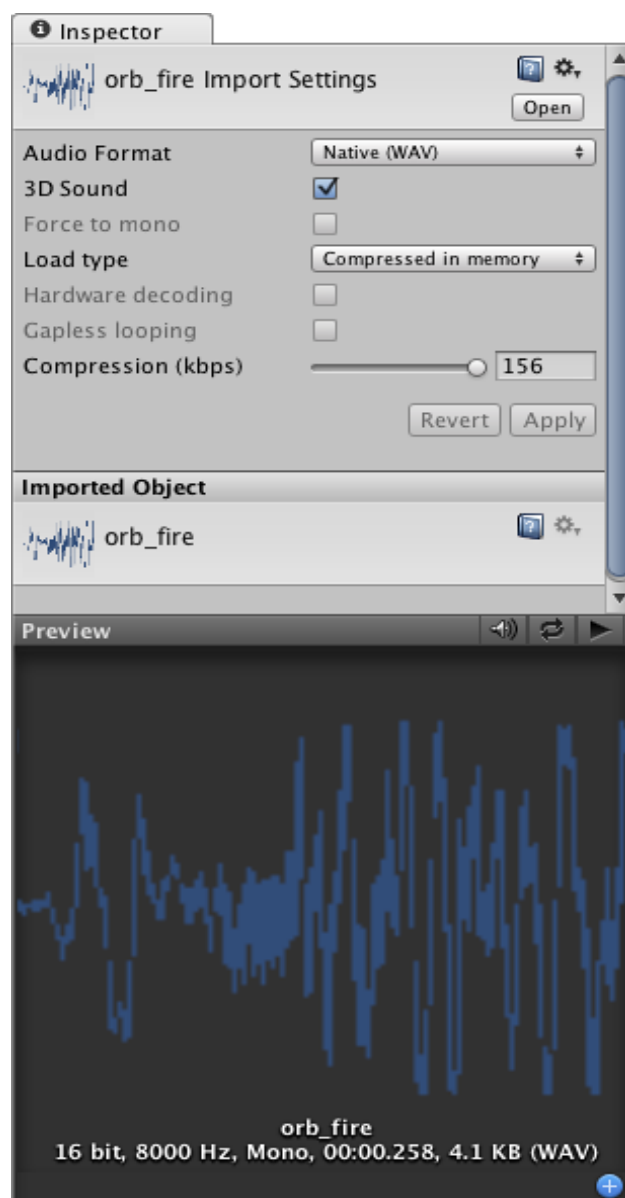
Kompresirani audio ima manje podatke ali se pri pokretanju dekompresiraju. Unity kodira audio na Ogg Vorbis ili MP3 o čemu se govori u petom poglavlju. Za najbolju kvalitetu zvuka koriste se WAV ili AIFF formati, a Unity vrši kodiranje. Ako se radi samo za Mac i PC platforme, može se raditi i sa Ogg Vorbis što neće degradirati kvalitetu.

Tablica 1: Podržani formati

Format	Mac/PC	Mobile
<b>MPEG (1/2/3)</b>	Ogg Vorbis	MP3
<b>Ogg Vorbis</b>	Ogg Vorbis	MP3
<b>WAF</b>	Ogg Vorbis	MP3
<b>AIFF</b>	Ogg Vorbis	MP3
<b>MOD</b>	-	-
<b>IT</b>	-	-
<b>S3M</b>	-	-
<b>XM</b>	-	-

Izvor: <http://docs.unity3d.com/410/Documentation/Manual/AudioFiles.html>

Za muziku, Unity podržava module koji koriste kratke audio uzorke kao instrumente, koji se aranžiraju u svrhu sviranja melodija. Moduli se mogu importirati iz .xm, .mod, .it, i .s3m datoteka, ali su inače korišteni kao i obični audio isječki (engl. Audio clip). U suštini, moduli su samo paketi audio uzoraka koji su modelirani, aranžirani i programski sekvencirani. Na slici je prikazan „Inspector“ koji daje detaljne informacije o selektiranoj audio datoteci.



Slika 5: Inspector

Izvor: <http://docs.unity3d.com/460/Documentation/Manual/Inspector.html>

## 1.4. RAZVOJ DOGAĐAJA

Dizajner ne određuje razvoj događaja jer u većini slučajeva dobije priču kojoj nedostaje zvuk. Nakon što vidi što se zbiva u projektu, prilagođava zvukove kako bi zvučali čim realnije. Ukoliko je dizajner zvuka ujedno i autor priče, donekle može predvidjeti gdje će koji zvuk ići.

U ovom je projektu izrađen događaj gdje glavni lik preživljava u prirodi. Kao primjer se koristi isječak iz igrice „Far Cry 1“ od „Crytek“ kako bi se bolje predočio događaj.



Slika 6: Isječak igre „Far Cry 1“ s uzorom na projekt

Izvor: <http://www.identi.li/index.php?topic=140118>

## 2. OSNOVE OBRADJE ZVUKA U OKRUŽENJU ZA DIGITALNI AUDIO

U ovom poglavlju se govori o digitalnim audio platformama, procesiranju zvuka, zvučnom okruženju i pozicioniranju zvuka, krenuvši od toga što je DAW.

DAW (engl. Digital Audio Workstation) je PC ili MAC opremljen zvučnim karticama, softverom za editiranje i procesiranje digitalnog zvuka. Dobro opremljeno računalo sada funkcionira kao sofisticirani studio za snimanje, koji uporabom softvera za stvaranje profesionalnog zvuka omogućuje editiranje, procesiranje zvuka i mogućnost izrade nove i kvalitetnije elektronske muzike (Leider, 2004).

Pojavom DAW umanjuje se uloga studijskih inženjera, jer se mnogi glazbenici snimaju u takozvanom projekt studiju u vlastitom domu. Za snimanje i obradu materijala za video igre se također koristi DAW. Neki od poznatijih su Cubase, Ableton Live, Magix, FL Studio, Pro Tools, Logic Pro.

Postoje sličnosti među DAW platformama, iako platforme koriste različite izraze kako bi opisale sličnu funkciju ili operaciju, kao što je prikazano u tablici (Producers & Engineers wing, 2008).

Tablica 2: Izrazi u DAW platformama (Definicije i sličnosti)

Izraz	Definicija
Active/Enable	Funkcija koja omogućuje da se traka uključi i koristi CPU. Ovisno o platformi, može biti i "Unarchive"
Audio file	Ovisno o platformi, može biti i "Sound bite"
Deactivate/Disable	Funkcija koja omogućuje isključivanje trake. Ovisno o platformi, može biti i "Archive"
Delay compensation	Automatsko podešavanje od strane platforme uzrokovano procesiranjem trake. Ovisno o platformi može biti "Latency compensation"
Edit list	Slijed segmenata aranžiranih na audio ili midi traku koja omogućuje stvaranje alternativnih verzija s različitim svojstvima. Može biti i "Playlist" ili
Segment	Blok podataka, korišten u svrhe editiranja koji dio audio ili midi datoteke. Ovisno o platformi može biti i "Event", "Clip", "Sound bite" ili "Region"

Izvor: Academy, T. R., & Wing, E. (n.d.). Digital Audio Workstation Guidelines for Music Production, 2008.

Dizajneri koriste DAW u svrhu stvaranja i editiranja novih efekata. Dobar primjer je MAX/MSP, objektno orijentirano programsko okruženje koje radi direktno unutar Ableton Live-a. Korisnici koriste MAX za kreiranje novih instrumenata, efekata, i MIDI manipulatora koji se ubacuju u trake na Live-u kao bilo koji „plug-in“. MAX postoji već desetljećima i jako je dobro programsko okruženje. Korišten je za stvaranje prilagođujućih muzičkih uređaja (engl. Engines) u stvarnom vremenu (engl. Real time) za video igre. MAX/MSP i Ableton Live korišteni odvojeno u igrama i audio produkciji, pokazuju da se njihovim spajanjem mogu postići velike mogućnosti za muzičku produkciju u stvarnom vremenu i interaktivni sadržaj (Young, 2013).

## 2.1 PANORAMA

Panorama je pozicioniranje zvuka u zvučno polje. Kako bi se razumjela panorama, treba razumjeti da „stereo“ zvučni sustav predstavlja zvuk prostorno.

Stereo sustav se sastoji od dva nezavisna kanala, a signali koji se reproduciraju imaju određen nivo i vezu između faza, koji kada se slušaju pružaju osjećaj slušanja originalnog izvora zvuka. Niti jedan stereo sustav, temeljito pregledan, ne može niti u teoriji postići savršenstvo, iako stvara dobru iluziju stvarnosti. Prednosti su čistoća zvuka, smanjena nejasnoća, pojačan dojam kretanja zvuka i prirodniji zvuk (Sunier, 1961).

Za razliku od stereo sustava, mono opisuje sustav gdje su svi audio signali pomiješani zajedno i provučeni kroz jedan audio kanal.

Panorama (engl. Panning) dozvoljava selekciju gdje će se u prostoru postaviti zvuk, stvara uzbuđenje dodavanjem kretnje u traci i čistoće instrumenta, tako što ga miče s puta drugim instrumentima koji se s njim „sudaraju“. Korištenje panorame omogućava upravljanje i prilagodbu širine i dubine zvuka.

Kao primjer se zamišlja gledanje vesterna u kinu. Scena je panorama pustinje Arizona, a preko sredine ekrana je kauboj koji sjedi na konju. Grupa Indijanaca ga napada, ali se ne vide zato što stoje točno iza njega. Ako ih se ne vidi, njihova je pojava limitirana, a oni su velik trošak za produkciju, koji je potraćen. Zar ne bi bilo bolje da režiser pomakne Indijance lijevo od sjene kauboja kako bi ih se vidjelo? Ili čak da ih raštrka po ekranu kako bi se napad činio veći i strašniji (Owsinski, 1999).



## 2.2. FREKVENCIJSKO PROCESIRANJE

Frekvencijsko procesiranje se izvodi korištenjem korektora (engl. Equalizer), koji se sastoji od elektroničkih filtra (identificiranih u sljedećem naslovu), koji omogućuju selekciju određenih dijelova frekvencijskog spektra, kako bi se zatim mogli prilagoditi. Filtar u korektoru je pasivna naprava i generalno, utišava zvuk. U tome je razlika između aktivnog i pasivnog filtra. Bandwidth je širina frekvencijskog pojasa.

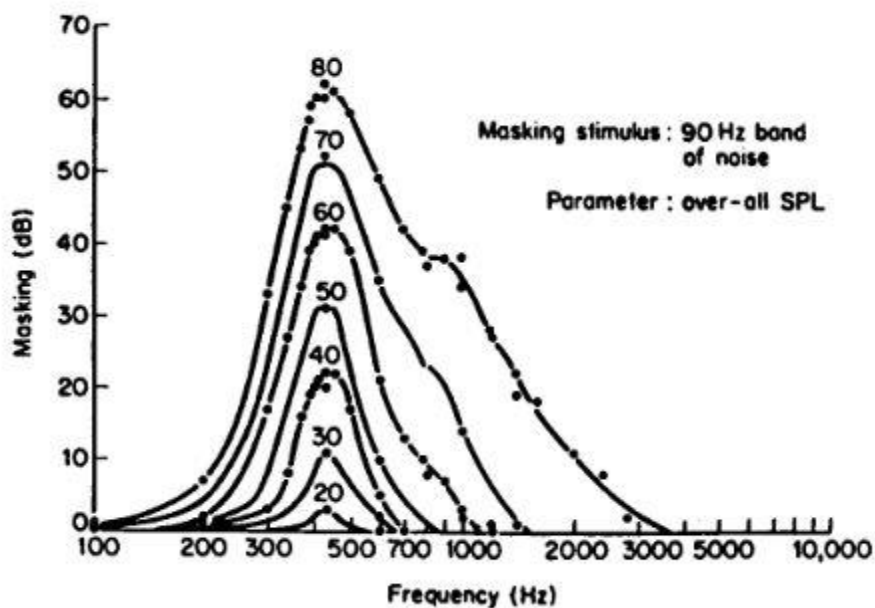
Posao korektora je da mijenja frekvencijski sadržaj zvučnog signala, te na taj način pomaže vještom dijeljenju frekvencijskog spektra između svih instrumenata, samim time dopuštajući svakom od instrumenata svoj prostor, kako se ne bi trebali „boriti“ s drugima za pozornost. Rezultat je nevjerojatno moćan i puni zvuk s relativno malim brojem traka.

Korektor može biti grafički, paragrafički i parametarski. Grafički povećava ili smanjuje frekvencije i doprinosi cjelokupnoj boji zvuka, a može imati pet, deset, dvadeset ili trideset traka. Paragrafički nudi veću kontrolu nad frekvencijama u odnosu na grafički te omogućuje povećanje ili smanjenje jačine jedne frekvencije bez utjecaja na druge (Viers, 2008).

Parametarski korektor omogućava upravljanje više parametara zvuka u odnosu na grafički odnosno kontroliranje tri aspekta svake frekvencije.

Kod neadekvatnog korištenja equalizera javlja se frekvencijsko maskiranje poznato kao psihoakustični fenomen (engl. Psychoacoustic phenomenon), koji utječe na percepciju zvuka onda kada se čuje više instrumenata koji sviraju zajedno. Ako jedan instrument u mix-u ima puno energije u određenoj frekvencijskoj regiji, percepcija za drugi instrument u istoj toj frekvencijskoj regiji će biti desenzibilizirana. Ti drugi instrumenti će biti zamaskirani jačim signalom u tom frekvencijskom opsegu (Owsinski, 1999).

U nastavku je prikazano maskiranje koje se prostire prema gore, na strani niskih frekvencija između 80 i 240 decibela, gdje svaka krivulja pokazuje elevaciju sinusoidalnog signala kao funkcije signala frekvencije.



Slika 7: Uzorak maskiranja centriran na 410 herca

Izvor: Brian C.J. Moore, Frequency Analysis and Masking, (1995), str.179

Maskiranje se može pojaviti u bilo kojem frekvencijskom opsegu, a ne samo na niskim frekvencijama, gdje se dva ili više zvukova preklapaju. Efekti maskiranja znače da bez obzira što svaki instrument zasebno zvuči odlično, u miksanju će se i dalje koristiti korektor kako se ne bi preklapali jedni s drugima, a u cjelokupnom će prostoru svaki dobiti svoj zasebni prostor i ton (Owsinski, 2006).

## 2.3. ANATOMIJA EQ

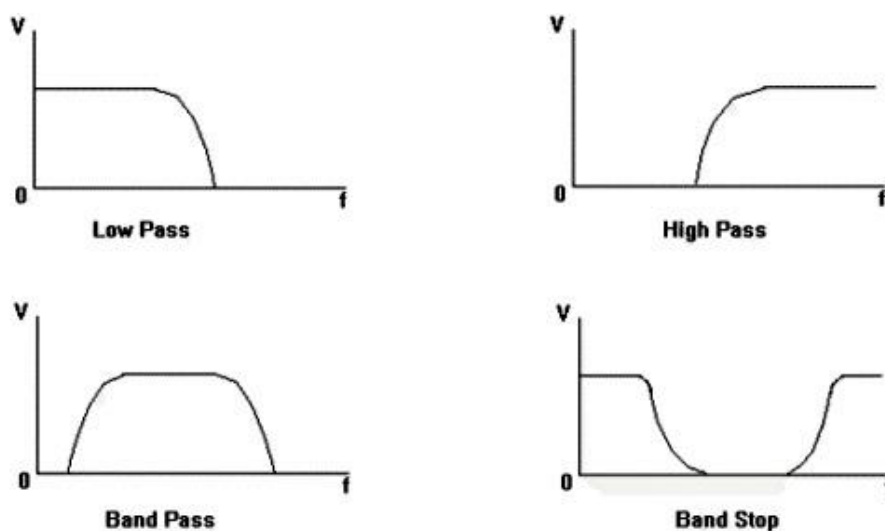
Postoje različite vrste equalizera dizajnirane za malo drukčije EQ zadatke. Međutim, svi rade koristeći iste osnovne principe i parametre. U korektoru postoji nekoliko filtra; „Low cut“ „Low shelf“ „High cut“ „High Shelf“ „Band pass“ i „Band stop“.

„Low Cut“ filtar u korektoru reže samo niske frekvencije, dok „High cut“ radi potpuno suprotno.

„Low shelf“ filtar reže frekvencije ispod „Cutoff“ frekvencije, dok „High shelf“ reže frekvencije iznad „Cutoff“ frekvencije.

„Band pass“ filtar propušta frekvencije u određenom opsegu, te umanjuje one van tog opsega.

„Band stop“ filtar umanjuje frekvencije u opsegu na niski nivo. .



Slika 8: EQ filtri - low pass, high pass, band pass, band stop

Izvor: <http://tymkrs.tumblr.com/post/8387067268/high-pass-filter-how-do-these-work>

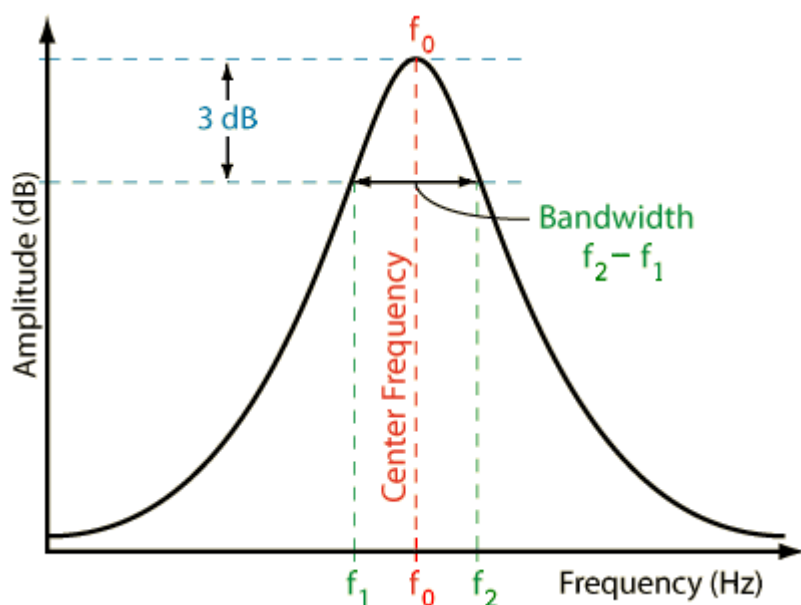
Korektor se sastoji od centralne frekvencije, od Q faktora, te od gain-a.

Q faktor kontrolira širinu frekvencijskog pojasa (engl. Bandwidth), odnosno frekvencije koje se režu. Što je niži Q faktor, širi je bandwidth.

Centralna frekvencija je specifična frekvencija kojoj se smanjuje jačina pomoću equalizera, u hercima (Hz).

Q je propusnost reza ili pojačanja (engl. Bandwidth of a cut or boost), odnosno širina opsega frekvencije oko centralne frekvencije na koju se utječe. Visoka Q vrijednost odgovara jako uskom filtru, dok niski Q odgovara širokom filtru. Visoki Q je koristan za izdvajanje zvukova koji okupiraju veoma uski i precizni dio zvučnog spektra, dok niski Q proizvodi ugladeniji, više muzički zvuk (Owsinski, 1999).

Gain je količina reza ili pojačanja (engl. Cut or boost) koji je implementiran na centralnu frekvenciju u decibelima (Db)



Slika 9: Q faktor, širina frekvencijskog pojasa

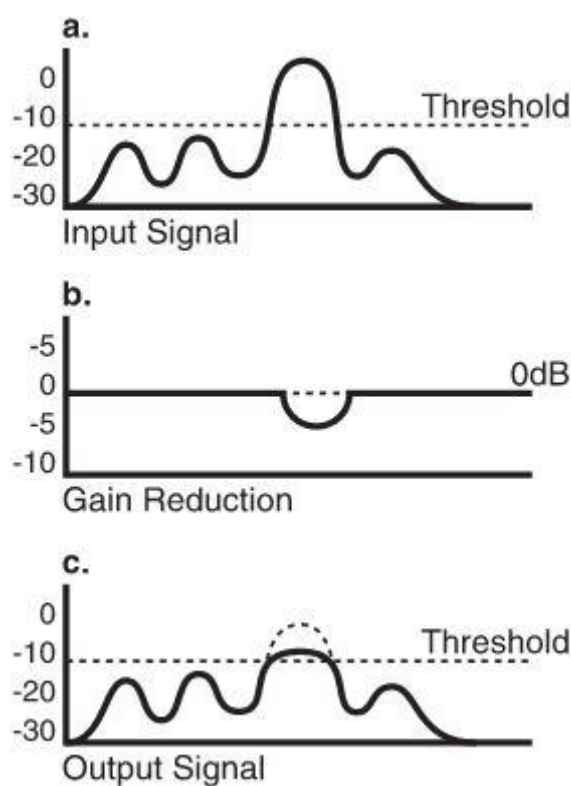
Izvor: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-bandwidth.htm>

## 2.4. DINAMIČKO PROCESIRANJE

U današnjim kompozicijama manipulacija dinamike igra značajnu ulogu za zvuk. Štoviše, ništa nema toliki utjecaj na miks poput kompresije.

Dinamika se kontrolira korištenjem kompresije, limitatora i „gate-a“.

Kompresija je automatizirana kontrola nivoa (engl. Level control), koja koristi ulaz samog signala kako bi se odredio nivo (engl. Level) izlaza. To se namješta korištenjem „Threshold“ i „Ratio“ kontrola. Kompresor funkcionira na principu omjera pojačanja (engl. Gain ratio), koji se mjeri na bazi od ulaza do izlaza nivoa (engl. Input to output level).



Slika 10: Dijagram ulaznog signala prije kompresije, tijekom kompresije i nakon kompresije

Izvor: Owsinski, B. (n.d.). *The Mixing Engineer's Handbook, Second Edition*, 2006, str.54

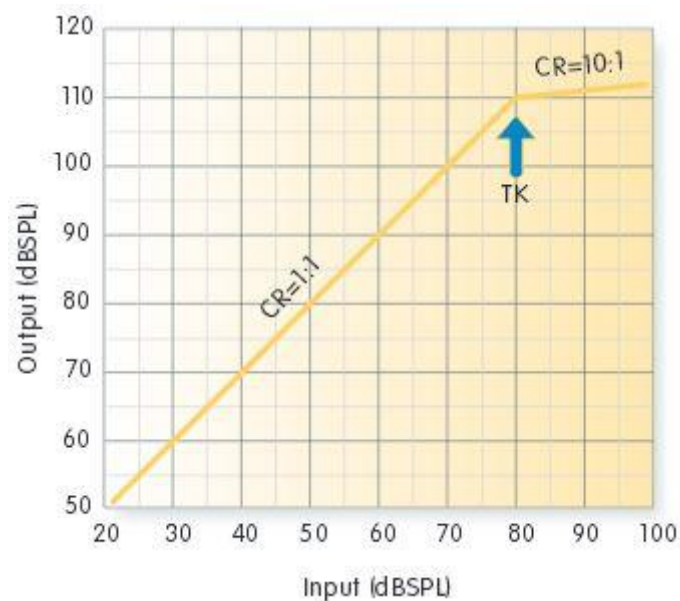
To znači da za svaka 4db koja ulaze u kompresor, 1db će izaći van u omjeru 4:1.

Ako je omjer pojačanja namješten 8:1, za svaki 8db koji ulazi u jedinicu, samo će 1db izaći van. Iako se može primijeniti na cijeli signal, bez obzira na nivo, kompresor generalno nije tako namješten. Kontrola „Threshold-a“ određuje na kojem će nivou signala kompresor početi raditi. „Threshold“ i „Ratio“ su zbog toga ovisni jedan o drugome te jedan utječe na to kako drugi radi (Owsinski 1999).

Postoje dva razloga zašto se dodaje kompresija na traku ili miks: kontrola dinamike ili kao efekt. Kontrola dinamike znači održavanje jednakosti nivoa zvuka. To znači podizanje nivoa mekih prijelaza te spuštanje nivoa visokih kako ne bi bilo velike razlike među njima.

Kompresija također mijenja zvuk trake kada se koristi kao efekt. Kompresija s odgovarajućim postavkama daje traci više agresije i uzbuđenja. Omogućava nelinearno pojačanje, što znači da kako se pojačanje (engl. Gain) smanjuje, ulazni signal se pojačava.

Izvodi se limitiranjem izlaznog signala slušnog uređaja bez distorzije, minimizira se glasnoća koja stvara nelagodu, zaustavlja daljnja šteta auditornog sistema, optimizira korištenje dinamičkog opsega, vraća normalna percepcija glasnoće, zadržava ugođaj slušanja (da nema buke), maksimizira čistoća glasa i reducira efekt buke. Kod korištenja treba pripaziti na sluh. Intenzivni zvukovi poput distorziranih, stvaraju saturaciju u slušnom uređaju. Zato se intenzivni zvukovi amplificiraju iznad komforne zone slušatelja, i ako se ne provjerava, jaki zvukovi koji ulaze u uređaj uzrokuju probleme sa sluhom, poput tinitusa ili oslabljenog sluha. Kako do toga ne bi došlo, koristi se limitator kompresije koji je prikazan na slici. Pokazuje ulazno izlazne funkcije slušnog uređaja s limitatorom. Kompresija na slici se koristi tako da jačina glasnoće ne utječe na maksimalni izlaz slušnog uređaja (Banerjee, 2012).



Slika 11: I/O funkcija slušnog uređaja s limitatorom

Izvor: Banerjee, S. (2012). The compression Handbook, An overview of the characteristics and application, str. 21

Volumen omotnice (engl. Volume envelope) zvuka se može modificirati tako da ima više ili manje napada (engl. Attack), što za zvuk znači veću punoću. Jedna od metoda za pravilno korištenje, je da se počne sporijim „Attack“ i najbržim „Release“ postavkama na kompresoru. Zatim se „Attack“ okreće brže sve dok instrument (npr. doboš) ne počne zvučati tupo. Tada se stane.

Prilagođava se vrijeme otpuštanja (engl. Release time) tako da nakon što doboš udari, glasnoća se vraća nazad na 90-100% do sljedećeg udara na doboš. Dodaje se ostatak miksa i preslušava, te se zatim nadopunjuju ostale finese na „Attack“ i „Release“.

Miksevi koje audio inženjeri danas rade, razlikuju se po korištenju kompresije. Prilikom korištenja zvuk ne treba zvučati previše stisnuto, već balansirano (Massenburg, 2006).

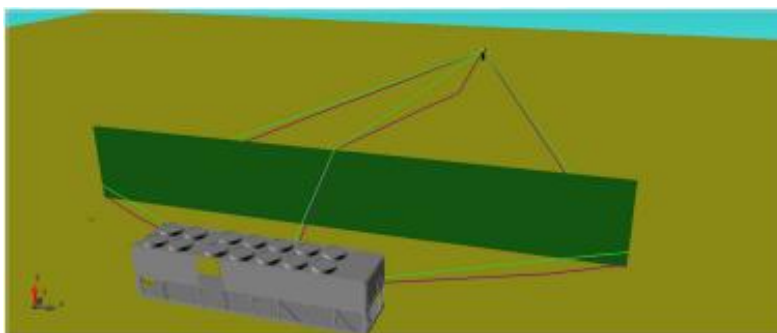
### 3. RAD U OKRUŽENJU OBRADJE ZVUKA ZA VIDEO IGRE

U trećem poglavlju identificirane su detekcija i kalkulacija puta zvuka. Povećanom standardizacijom, naprednijim softverom te hibridnim načinom rada, omogućena je bolja budućnost adaptivne muzike za video igre.

Kalkulacija i detekcija imaju značajan utjecaj na zvuk. Za primjer, može se zamisliti igranje FPS (engl. First person shooter) igre. Glavni lik vidi gdje se odvija borba i trči prema njoj. Kako se približava, zvuk postepeno postaje sve glasniji te nema smisla da kada se zvuk implementira bude uvijek iste glasnoće, jer nije realno i ne stvara napetost i dramatiku.

Posljednjih godina se odvijalo mnogo istraživanja vezanih za algoritme razmnožavanja zvuka te interaktivnog vraćanja zvuka („Propagation and rendering algorithms“), čime se dolazi do detekcije i kalkulacije puta kojim zvuk ide.

Detekcija puta kojim zvuk ide se odnosi na proces pronalaska puta zvuka od pošiljatelja do primatelja. Slikom je prikazan primjer modeliranja razmnožavanja zvuka pomoću geometrijske akustike od rashladnika do mikrofona, oko barijere. Detekcija puta zvuka je, zajedno s kalkulacijom najintenzivniji dio „Sound rendering“ procesa (Charalampous, Economou & Overview, 2013).



Slika 12: Put zvuka od rashladnika do mikrofona

Izvor: Charalampous P., Economou P., & Overview F. (2013). A Framework for the Development of Accurate Acoustic Calculations for Games

Koristeći jedan od putova zvuka metodom detektiranja, detektirani put zvuka se kalkuliра i pretvara odgovarajući frekvencijski odziv ili impulsni odziv, ovisno o zahtjevima kalkulacije. U većini slučajeva, rendering zvuka u 3D igrama zahtijeva kalkulaciju te skup (engl.



Convolution) odziva impulsa s pred snimljenom datotekom zvuka. Metode kalkulacije nivoa pritiska zvuka na primatelja variraju u preciznosti, brzini i kompleksnosti. Kao rezultat, selekcija odabrane metode ovisi od zahtjeva procesa renderinga zvuka. Kao primjer se može navesti projekt ovog rada, arhitektonska akustika te označavanje (engl. Mapping) buke u okruženju, koji zahtijevaju visok stupanj preciznosti u naprednim metodama kalkulacije. Ove metode uzimaju u obzir koeficijent odraza sfernog vala ovisno o kutu, konačnom otporu objekta, konačnoj veličini odraza, korekciji krajeva koristeći Fresnel zonu (zona između pošiljatelja i primatelja), visokoj rezoluciji analiziranja frekvencija i turbulenciji atmosfere. PEMARD softverski arhitektski model (engl. Framework) koristi slijedeći izraz za kalkulaciju relativnog pritiska na svakog primatelja, samim time i nivo pritiska zvuka:

$$P_{total} = \sum_{i=1}^n p_i \frac{e^{jkR_i}}{R_i} \prod_{j=1}^m C_j.$$

Tablica 3: Značenje znakova iz formule

$P_{total}$	ukupni pritisak zvuka na primatelja od svih putova i izvora
$p_i$	ukupni pritisak zvuka na primatelja od svih putova iz jednog izvora, uključujući barijere
$n$	broj putova zvuka od izvora do primatelja
$k$	broj valova
$R_i$	dužina puta između puta i izvora
$C_j$	koeficijent koji predstavlja fenomen zvuka
$m$	broj koeficijenta

Izvor: Charalampous P., Economou, P. & Overview, F. (2013). A Framework for the Development of Accurate Acoustic Calculations for Games

### 3.1. FMOD STUDIO

FMOD je izradila tvrtka „Firelight Technologies“, vodeća tvrtka u audio industriji za video igre. FMOD interaktivni audio middleware se koristi u seriji igara poput: World of Warcraft, Starcraft, Crysis, Bioshock i mnogih drugih. Zanimljiva stvar kod FMOD-a je što izgleda i funkcionira na sličan način kao DAW te više ne izgleda samo kao programsko okruženje. Ovaj studio je kreativan alat i audio sustav koji omogućava timu audio programera kreiranje superiornih rezultata u svim područjima zvuka za video igre, u što manje vremena. Postoji cijela hijerarhija objekata u FMOD-u, identificiranih u tablici.

Tablica 4: Objekti FMOD studija

Workspace	Omogućuje istovremeno otvaranje više projekta koji se povezuju s datotekom radnog prostora
Project	Datoteka koja koristi sve podatke FMOD-a. Jedan projekt sadrži sav materijal potreban za jednu igru
Event Category	Virtualna mapa koja služi za organizaciju "Event" podataka u grupe, poput grupe za muziku
Event Group	Virtualna mapa koja služi za organizaciju "Event" podataka. Grupe omogućuju lakši tijek rada, a kategorije manipulaciju grupa poput kontrole jačine zvuka
Simple Event	Najkorišteniji objekt, specificira poduzete akcije nakon odabranog audija. Samostalni objekt koji referencira i sadrži svojstva datoteka zvuka, koji će se reproducirati
Multi-Track Event	Uključuje više slojeva i istovremeno omogućuje miksanje i reproduciranje više zvukova. Upotrebljavaju "Sound def" umjesto da direktno koriste datoteke zvuka
Event Template	Svaki event se može pretvoriti u event template, koji omogućuje podešavanje svojstva kada se napravi event
Event Layer	Pruža event koji pušta više audio dijelova istovremeno
Event Layer Effect	Raznovrsni DSP (engl. digital signal processing) efekti koji se dodaju u event layer. Mogu biti glasnoća, visina tona, reverb i raznovrsni filtri
Effect Automation	Raznoliki layer efekti se mogu kontrolirati putem sučelja grafičke crte s članovima. Član može biti pozicioniran tako da postavlja vrijednosti tokom reprodukcije

Sound Def Instance	Poseban slučaj sound def-a. U eventu može postojati više istih sound def, i mogu im se dodijeliti specifična svojstva
Parameter	Obezbjeđuje funkcionalnost kako bi se podesile karakteristike audio reprodukcije u stvarnom vremenu
Effect	Digitalno procesiranje signala (DSP) koje omogućuje da se zvuk "ukrasi". Uključuje low pass filter, distorziju, flanging itd.
Sound Def	Objekt koji sadrži audio datoteke ili druge entitete koji proizvode zvuk, poput oscilatora
Sound Def Folder	Grupiranje više sound def objekta zajedno u sound def okno za prikaz (engl. Sound def browser pane). Mape se mogu nazvati po želji i koristiti za sortiranje sound def
Soundfile (Wavetable)	Postojeća audio datoteka
Oscillator	Generirani audio signal u stvarnom vremenu
Banks	Identificira karakteristike i sadržaj podataka eksportiranih u naziv igre
Reverb Defs	Identificira karakteristike od odjekivanja korištenih u projektu

Izvor: Manual, U. (2010). FMOD DESIGNER. <http://www.fmod.org>

Eventi su okidači (engl. Trigger), koje programer poziva iz koda igre, kako bi svirao ili nadogradio zvuk. Event može biti pucanj, zvuk hoda, ptica, lišća ili čak muzike. Bilo kakav zvuk je event. Programer je odgovoran za određivanje početka i kraja eventa, kao i za nadogradnju podataka eventa iz koda igre. S druge strane, dizajner zvuka je odgovoran za kreiranje evenata, selekciju audio primjera, prilagodbu svojstava evenata (primjerice zvukova koji se ponavljaju), postavljanje evenata u 2D ili 3D okruženje, kreiranje parametara za identifikaciju udaljenosti zvuka od glavnog lika i podešavanje glasnoće s drugim eventima.

## **4. FAZE DIZAJNA ZVUKA**

Zvukove nije dopušteno skidati od drugih autora, osim sa stranica koje su tome namijenjene. Također se ne smiju skidati igre i prilagođavati zvuk u njima bez odobrenja autora.

Kako bi se uopće snimio zvuk za igre, potreban je uređaj za snimanje. Kvaliteta zvuka ovisi o odnosu signala i šuma (engl. SNR – signal-to-noise ratio). Kvalitetniji uređaji su „Zoom H6 Handy recorder“ i „Alesis ProTrack stereo recorder“.

Zabavan, te pomalo čudan dio ovog posla su alati. Kuhinjski pribor, voće, povrće, piće i ostala hrana, u ovom poslu su dizajneru najbolji alati. Za neke malo kompleksnije zvukove poput zvuka puške M-16 iz primjera projekta, moglo bi se otići na poligon te snimiti stvarni zvuk pucnja (nije nužno što je pojašnjeno u petom poglavlju) kako bi se igraču pružio što realniji osjećaj tijekom igranja.

Dizajn zvuka za video igre se u praktičnoj primjeni dijeli na tri osnovna procesa: pred-produkciju, produkciju i post-produkciju. Ovisno o vrsti igre, može se dogoditi da se ova tri procesa preklapaju, međutim ovdje su opisane tri faze u formi u kojoj postoje tijekom razvoja igre. Bez obzira na veličinu posla tima i obim posla, dobra suradnja s programerskim i vizualno dizajnerskim timom je ključ za uspješan razvoj igre. Najbolja varijanta je kada netko iz tima, ili četvrta osoba, ako budžet dozvoljava, uzme ulogu menadžera projekta te koordinira rad razvojnog tima kako bi se što preciznije odredili rokovi i postigla željena kvaliteta na relaciji producent (klijent) - razvojni tim.

### **4.1. PRED – PRODUKCIJA**

U prvoj fazi dizajner definira sve zvukove koji će se pojaviti u igri. Kreira takozvani „Sound sheet“ koji sadrži nomenklaturu, mjesto pojavljivanja zvuka u igri, definiciju zvuka, opis zvuka, činjenicu da li se zvuk ponavlja (što je veoma bitno za programski dio implementacije zvuka), kao i otvorene kolumne u koje će ostali članovi tima upisivati svoje komentare. Spisak se kreira na osnovu procesa u kojem dizajner zajedno sa suradnicima prolazi kroz scenarij i definira zvukove (engl. Spotting), a zatim u sklopu dogovora s timom kreira sliku cjelokupnog zvuka u igri. Izuzetno je bitno uredno označiti sve zvukove brojevima i imenima kako bi ih svi koristili na isti način, lako pronalazili i implementirali, jer što je projekt veći teže je raditi s neurednim materijalom. Programeri i grafički dizajneri moraju znati koji je

zvuk predviđen za što, kako bi kreativna i tehnička suradnja bile na višem nivou. Dobar programer konstantno informira dizajnera o promjenama koje nastaju (zbog konstantnih izmjena detalja i ideja za igru), što rezultira kvalitetnijim zvukom za određeni događaj u igri (Marks, 2009).

## **4.2. PRODUKCIJA**

U ovoj fazi dizajner kreira zvukove koje je prethodno zabilježio kao nosioce zvučnog karaktera i kreiranja zvučnog iskustva tijekom igre. Zvukovi se kreiraju snimanjem, sintezom i uporabom banaka zvukova, u kojima su već snimljeni i/ili obrađeni zvukovi (Peerdeman, 2010). Zvukovi se kreiraju na način za koji dizajner smatra da će se najbolje nadopuniti i uklopiti u vizualno – zvučnu sliku. Dizajner zvuka u suradnji s vizualnim dizajnerom kreira osnovne karakteristike likova, interakcija i okruženja. U suradnji s programerom, shvativši logiku igre i način interakcije programa, slike i zvuka, dizajner kreira zvukove sa „Sound sheet“ liste (Baccigalupo, 2003)).

Zvukovi se poslije rudimentarnog osnovnog oblikovanja procesiraju u skladu s tehničkim zahtjevima i estetskom vizijom dizajnera. Također, u ovoj fazi, dizajner kreira sve četiri podgrupe zvuka u igri - ambijent, efekt, dijaloge i muziku. U fazi produkcije svi zvukovi s liste moraju biti kreirani i producirani prije nego se krene u slijedeću fazu. Kreiranje i produkcija se rade na osnovu scenarija i uz pomoć vizualnih rješenja grafičkih dizajnera, koji konstantno radi s dizajnerom zvuka, kako bi došli do najboljeg rješenja.

U ovoj fazi rada, dizajner zvuka može dobiti kratke dijelove igre u formi video zapisa, kako bi mogao eksperimentirati i zaključiti da li su zvukovi, koji izolirani zvuče dobro, koherentni u odnosu na druge. Na primjer, muzika, koju je dizajner komponirao, sama za sebe može biti dobra, ali kada se implementira u ambijent igre, može se dogoditi da bude previše dramatična i nesinkronizirana. Ova metoda rada je bila učestala prije pojave „middleware-a“. Ukoliko dizajner dobije cijeli „Build“ igre, spaja se putem API protokola i koristi middleware u stvarnom vremenu te tako izbjegava gubljenje vremena na pilot miks u odnosu na linearne video zapise. Linearni pilot-miks se radi samo u slučaju da dizajner nema pristup glavnom buildu, već dobija samo linearno snimljene dijelove igre.

### 4.3. POST – PRODUKCIJA

U suvremenom radu dizajnera zvuka, koji ima znanje i iskustvo korištenja middleware-a, post-produkcija počinje integracijom zvuka u igru. Ukoliko su obje strane poštivale pravila uredne nomenklature i numeriranja, čak i u velikim projektima, dizajner lako pronalazi zvukove koje je namijenio određenim događajima u igri. Middleware dozvoljava dizajneru korištenje punog potencijala ove vrste softvera, a to je dinamička adaptacija zvuka s događajima u igri, kreiranje ambijenta i efekata putem generativne audio produkcije (Bridgett, 2007).

Primjerice, jedan zvuk, koji program može modulirati u smislu amplitude, 3D prostornosti i frekvencije, može poslužiti za deset ili više događaja, putem adaptacije koju vrši dizajner, dok koristi samo jedan file. Na taj je način drastično smanjena količina prostora koju zvuk zauzima u igri. Koristeći middleware, dizajner programira audio build, implementirajući zvukove, stvarajući ambijent, atmosferu, efekte, muzičku podlogu i na taj način drastično poboljšava estetsku vrijednost igre kao i užitak „Gameplay-a“.

Pravilnim korištenjem parametara, tranzicija i automatizacije, dizajner ima neograničene mogućnosti za stvaranje najboljeg mogućeg ambijenta za igru. Kada je integracija završena, bira se platforma za koju se igra radi (OSX, Android, X-box) i izdaje zapovijed middleware-u da napravi build. Middleware kreira build u vidu skripte, tako da je programeru potreban samo taj jedan file, umjesto tisuća malih fileova, koje bi, bez middlewarea, on morao implementirati. Middleware ima opciju priložiti GUID, jedinstvene brojeve svakog audio filea programeru, kao i izvesti „Benchmark“ test, kako bi dizajner provjerio koliko resursa koristi njegov build. Middleware, njegova popularnost i pouzdanost su natjerali dizajnere zvuka da nauče osnove programiranja i kodiranja, jer na kraju svega, ono što prilažu kao konačni proizvod je programirani build koji u sebi sadrži audio karakteristike za svaki pojedinačni događaj u igri.

## 5. IZRADA PROJEKTA

Radi demonstracije suvremenog načina rada dizajnera zvuka, predstavljena je kratka scena iz fiktivne video igre, način pristupa, dizajna zvuka i programiranja build-a kroz middleware. Žanr igre je avantura/FPS, kamera je prvo lice, platforma playstation 3, a okruženje 3D. Scenarij: Glavni lik bježi kroz šumu, odjeven je u majicu kratkih rukava, vojničke hlače i čizme. U rukama ima automatsku pušku M-16. Lik bježi kroz šumu, tenzija raste. U strahu je, izmoren od trčanja, zaustavlja se da se odmori i za to vrijeme provjerava šaržer svoje puške. U jednom trenutku primjećuje neprijatelja te ispaljuje rafalnu paljbu u njegovom pravcu. Kada ga pogodi mijenja šaržer i repetira pušku.

### 5.1. DEFINIRANJE ZVUKOVA

Definiranje zvukova pripada fazi pred – produkcije. Ovo je kratak scenarij, u pravilu se pored analize scenarija treba konzultirati s programerom koji govori koji će se „Engine“ koristiti i koji su mogući pokreti koje će lik moći izvesti.

Na osnovu analize stvara se prva zvučna slika te se razmišlja o četiri kategorije dizajna (ambijent, efekti, zvučni dijalog, muzika).

Tijekom „Spottinga“ (prilikom analize scenarija) proizlazi zaključak:

Ambijent : Šuma, tropskog tipa. Zvukovi koji opisuju ambijent su zvukovi ptica, različitih insekata, zraka koji prolazi kroz krošnje drveća i stabla, stvarajući tipičan zvuk šumovitog okruženja. U ovom trenutku je jasno da se ti zvukovi mogu snimiti na lokaciji ili iskoristiti neke od zvukova koji su već pohranjeni u bankama zvuka. Činjenica da je igra u 3D ambijentu govori da će se u fazi post-produkcije u middleware-u trebati posvetiti određivanju prostornosti.

Zvučni efekti: Krećući, uglavnom, od personalizacije i definiranja glavnog lika i njegove interakcije s okolinom, kao i mehanizma igre i mogućih pokreta, zaključuje se da su zvukovi glavnog lika hodanje, trčanje, ležanje i puzanje kroz šumski teren, što znači da podloga tijekom interakcije daje zvuk lišća, blata, zemlje i raslinja. Oružje je puška M-16, a u scenariju, pored pucanja, glavni lik repetira pušku i mijenja šaržer. Kako se rijetko ukazuju prilike za snimanje zvuka pravog oružja, može se snimiti različite kratke zvukove te ih uklopiti u zvuk pucanja uporabom sintisajzera. Taj se zvuk može pronaći i na nekoj od

stranica namijenjenih tome, gdje ih se može besplatno skinuti ili pak kupiti. Kako je M-16 automatska puška, zna se da je potreban zvuk pojedinačne, rafalne i polurafalne paljbe. Zvuk je moguće kreirati i kroz generativnu audio produkciju. Ostali zvukovi uporabe oružja mogu se simulirati snimanjem rukovanja različitim metalnim predmetima i alatom. Kako, kada dođe do borbe s neprijateljem, koji je također naoružan, treba imati u vidu da on puca iz nekog oružja drugog kalibra koji daje drugačiji zvuk, kako ne bi došlo do zvučnog preklapanja i smanjenja simulacije realnosti.

Dijalog : Iako u scenariju nije naveden dijalog, opis trčanja i umora ukazuju da glavni lik tijekom trčanja, a uslijed napora, vrućine i stresa, dahće, a prilikom bacanja na pod ispušta bolan zvuk. Odmarajući se, diše glasno, pa tiše. Ovi elementi su značajni kod igre koja se odvija u prvom licu, kako bi se igrač poistovjetio s likom - na taj način ga zvuk “uvlači” u igru. Također, pogođeni neprijatelj bi trebao ispustiti bolan krik. Ovi zvukovi se mogu snimiti na lokaciji pa procesirati u produkciji, ili u studiju gdje se odvija proces „voice-overa“, davanje glasova likovima. Ukoliko je budžet mali i dizajner nema glumce na raspolaganju, može pokušati sam odglumiti i snimiti takve zvukove, ili ih kupiti sa nekog od stock web stranica. Bitno je da zvukovi postoje, jer obogaćuju cijeli zvučni spektar. Na kraju se može dodati jedan apstraktni element - zvuk lupanja srca, kako bi se igrača koji igra sa slušalicama na ušima, u potpunosti povezal s glavnim likom.

Muzika: Uzimajući u obzir da su atmosfera i ambijent zvučno pokriveni zvukovima šume, muzika mora postojati u vidu sublimiranih “dronova” radije nego kompozicije, dakle, sintetiziranih zvukova koji daju dramatične elemente i osjećaj iščekivanja i prijetnje. U trenutku borbe, može se ubaciti ritam sekcija u vidu orkestarskih timpana i nekoliko violinskih „Glisando“ akorda.

Prije procesa produkcije, potrebno je napraviti „Sound sheet“, kako bi i programer koristio iste nazive datoteka u skripti. FMOD build ne funkcioniра ako se ne koriste isti nazivi datoteka s obje strane.



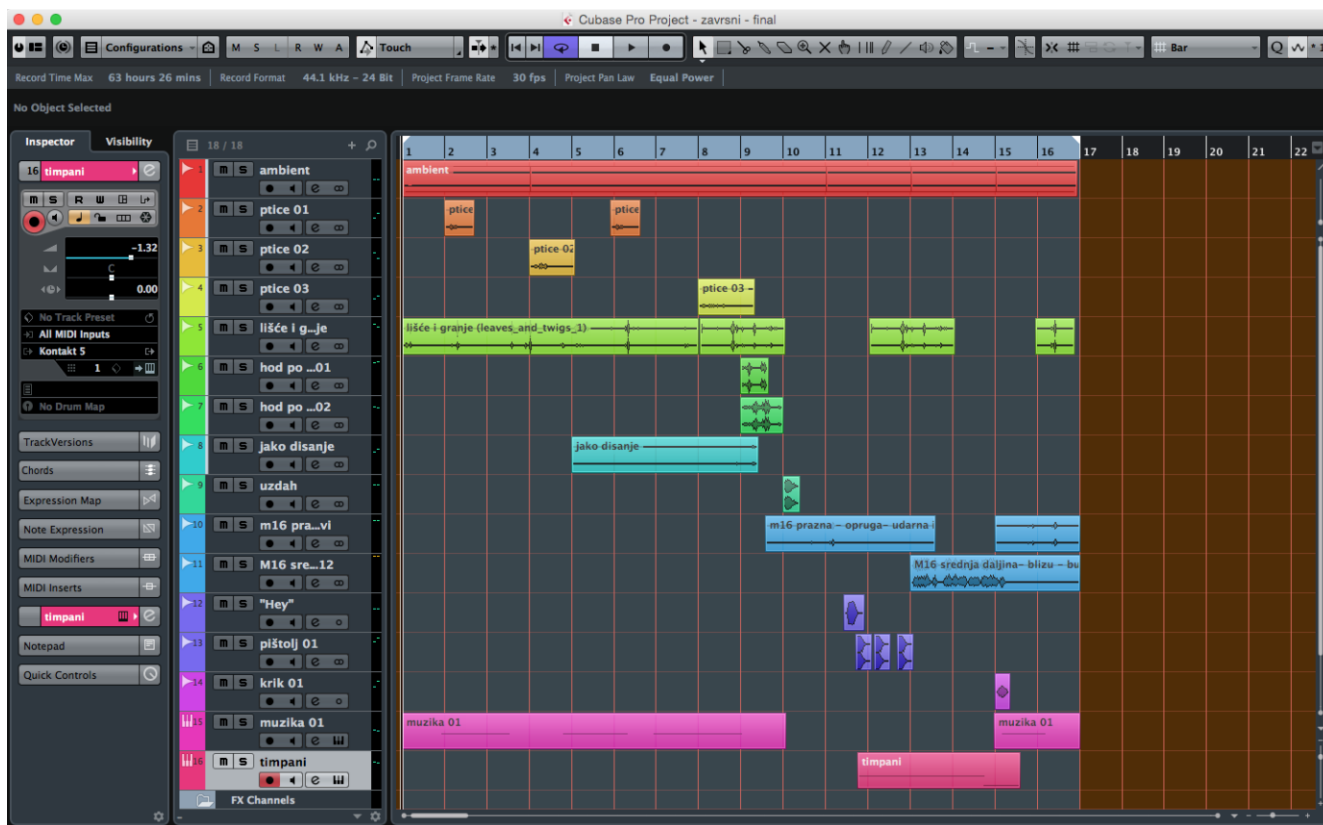
## 5.2. PRODUKCIJA ZVUKOVA

Nakon kreiranja „Sound sheet-a“, započinje produkcija zvukova.

Ambijent: zvuk je dobiven snimanjem zvukova obližnje šume portabilnim rekorderom „Zoom h-6“. Snimka je u stereo formatu, rađena u M/S (engl. Mid-side) tehnici, snimljena M/S mikrofonom, kako bi se dobila što šira stereo slika. Zvuk je zatim procesiran studijskim uvjetima, editiran i očišćen od buke korištenjem profesionalnog softvera „Izotope RX 4 Advanced“.

Ptice: zvukovi su snimljeni tijekom snimanja ambijenta šume. Korišten je „Sennheiser ME66“ ultra direkcioni mikrofonski, kako bi se dobile mono snimke više različitih ptica, koje će se u post produkciji koristiti u svrhu postizanja raznovrsnosti auditivnog spektra. U produkciji su očišćeni od šuma i zvuka vjetra, te dinamički pojačani kompresijom kako bi bili čim oštrij.

Hod po lišću: zvukovi su snimljeni tijekom snimanja ambijenta u šumi, ultra direkcionim mikrofonom „Sennheiser ME66“. Snimljeni su zvuci kretanja po lišću i granju u različitoj dinamici hodanja i trčanja. U post produkciji, mono snimke su kompresirane i obrađene pomoću EQ-a kako bi se smanjila prejak dinamika.



Slika 13. Cubase pro 8 projekt (prikaz audio traka)

Dahtanje, uzdah, neprijatelj ev uzvik „HEY“ i krik: zvukovi su snimljeni u polu akustički tretiranoj prostoriji, mikrofonom „AKG c414“. Poslije snimanja, zvukovi su obrađeni, editirani i očišćeni od neželjenih frekvencija, blago dinamički tretirani i frekventno obrađeni skidanjem svih frekvencija ispod 100Hz.

M16 prazna: zvuk je dobiven snimanjem metalnih objekata, alata različitih vrsta, koji simuliraju repetiranje puške. Zvuk je obrađen u produkciji s naglašenim visokim frekvencijama.

M16 rafal: zvuk je dobiven iz banke zvukova koji su slobodni za uporabu. Pojačan je kompresijom i jačanjem frekvencija u višim srednjim i visokim obimima.

Pištalj – neprijatelj: zvuk je dobiven „Layeringom“, snimak udarca metala o metal, kombiniran sa snimkom lupanja vrata i sintisajzera „Omnisphere“, kao i doboša iz ritam mašine „GrooveAgent“. Ova četiri zvuka su slijepljena „Glue kompresijom“ i korektorom, gdje su skinuti nepotrebni viškovi frekvencija, kako bi se sva četiri zvuka stopila u jedan.

Ovo je klasičan primjer hibridnog „Sound designa“ gdje se koristi i snimljeni materijal koji simulira zvuk, kao i sintisajzer.

Muzika – dinamika, muzika - borba dinamika 2: prvi zvuk je dobiven sintisajzerom „Retrologue“ koji daje „Dron“ zvuk, kako se ne bi opteretio frekvencijski spektar ostalih zvukova. Muzika tijekom borbe je iz seta zvukova „Native Instruments Action Strikes“, koja daje „Timpane“ u ritmu, kako bi podigla dinamiku na viši nivo. Oba zvuka su editirana u produkciji te su napravljeni „Loopovi“, kako bi se uklapali u igru kad god bi došlo do tranzicije između jedne faze (mir) i druge faze (borba).

Nakon kreiranja zvukova, iako možemo biti zadovoljni zvukom pojedinačno, bitno je napraviti simulaciju i vidjeti kakvu sliku zvukovi daju globalno. U praksi se od programera dobiju kratke snimke video igre, gdje je snimljen jedan dio igre, pa se prije post – produkcije napravi linearni miks. Budući da u ovom slučaju nema snimke, konstruiran je pilot miks u kojem se simulira dio igre i upotrebljavaju svi zvukovi. Projekt je rađen u „Cubase Pro 8“. Svi zvukovi su ubačeni u projekt, a zatim procesirani onako kako će biti procesirani i u FMOD studiju. Nakon ispravljanja sitnih pogrešaka vezanih, prije svega za frekvencije i odnos glasnoće, rađene su kompresije koje utišavaju jedan dio zvukova kada određeni segment igre počne – na primjer u tijeku borbe, čuju se pucanje i muzika. To su dvije grupe zvukova koje kroz „Side-chain“ kompresiju stišavaju zvukove ptica i atmosfere – utišavanje je s jedne

strane logično, jer ptice bježe kada počne pucnjava, a zatim i utječe na psiho akustiku igrača. Iz perspektive nekoga na koga se puca i koji puca, bitno je da se dinamika borbe, pojačana muzikom, prenese igraču. On u tom trenutku ne mora čuti atmosferu previše glasno, da bi se što bolje fokusirao na borbu.

U projekt je uključen i efekt prirodnog reverba, kroz koji prolaze sve trake, kako bi simulirale stvarnost odjeka pucnja, urlika itd. Pravilo je da se nakon promjena u frekvencijama kako bi zvukovi bili kompatibilni, nove verzije zvukova eksportiraju u radni folder za FMOD. Zvukovi ne smiju biti previše glasni, kako bi ostavili dovoljno prostora za dizajnera da se koristi dinamikom kao efektom, a zatim moraju biti bez ikakvih efekta i reverba – čisti i procesirani samo kompresijom i korektorom. Dizajner efekte ubacuje u FMOD. Na kraju se može preslušati pilot miks i izmjene.



Slika 14: konzola sa miksanjem (prikaz efekta i traka)

### 5.3. FMOD POST – PRODUKCIJA

Post produkcija podrazumijeva integraciju zvukova u „Middleware-u“, u ovom slučaju FMOD Studio te izgradnju „builda“, prema izabranoj platformi. Za razliku od ranijih metodologija rada, kada je programer ili audio programer implementirao zvuk u igru, sa čestim posljedicama u vidu pogrešaka i loše dinamike i tranzicije, sada dizajner direktno integrira zvuk u igru i izbacuje „Build“ u programskom kodu. Još je lakše kada dizajner ima cijeli projekt na svom sustavu, pa se putem API poveže s engineom u kojem se radi igra, tako da može napraviti uvid u stvarnom vremenu.

Ova implementacija prema scenariju, ima nekoliko ključnih odluka prije nego što integracija započne. Dakle, igra je prema scenariju 3D. To znači da se pojedini zvukovi moraju postaviti u prostorni raspored. U FMOD - u, takvi elementi se nazivaju „Emiteri“ i imaju mogućnost prostornog raspoređivanja u odnosu na igrača. Valja napomenuti da je FMOD izuzetno subjektivan alat i da se do jednog cilja može doći na više načina.

Početak implementacije u FMOD Studiju je prebacivanje svih zvukova u vidu datoteka u FMOD audio bin-u. To je radni folder FMOD-a. Datoteke koje su korištene neće ni na koji način ugroziti originalne datoteke kreirane tokom produkcije. FMOD nudi opciju otvaranja audio editor-a kojega programer preferira, u slučaju da treba editirati neke od zvukova tijekom rada, jer FMOD nije audio editor. FMOD raspolaže velikim brojem plugin - a, softverskih modulacija efekata, kao i generatorom efekata u vidu generatora vremena, vjetrova, kiše itd.

Prvi korak je kreiranje ambijenta. To je početni korak, kako bi se napravilo okruženje u koje se kasnije implementiraju zvukovi.

Da bi se dodao zvuk, u FMOD-u je potrebno napraviti novi EVENT. Event je element FMOD-a koji programer pokreće u skripti, a koji zajedno sa zvukom pokreće različita dešavanja – na primjer, hodanje igrača je event. Taj event okida (Trigger) vizualno hodanje, kao i zvuk hodanja.

Da bi se napravio ambijent, prvo se radi „Simple event“. U simple event se ubacuje zvuk ambijenta, dodaje korektor i blaga kompresija, kao i send prema glavnom reverb modulu.

U event se unosi parametar (parametri moraju biti nazvani istim imenima u glavnoj programskoj skripti i koristiti se istim vrijednostima koje su zadane) koji na početku utišava zvuk ambijenta, u slučaju da igrač ulazi u ambijent iz nekog drugog ambijenta, npr. plaže. Zvuk ambijenta u „Single event“ kontejneru stavlja se na „Loop“, kako bi se zauzelo što manje prostora u buildu – u izgradnji video igara neophodno je da audio elementi zauzimaju čim manje prostora, a to je i poanta generativnog produciranja koje FMOD nudi u odnosu na linearno.

Naime, u slučaju ovog ambijenta, kada bi se promatrao linearno, dok igrač ide kroz šumu dva sata, trebalo bi omogućiti audio datoteku u trajanju od dva sata. U formatu 44.1 khz, 16 bit (standarni cd format, koji koristi wav file putem pulse code modulacije) jedan stereo file zauzima 10mb po minuti. Dakle, samo za ovaj zvuk, dva sata bi zauzimalo 120X100MB = 12000 MB, što je nedopustivo za video igru.

U generativnoj produkciji, dovoljno je ubaciti file od 1 mb, i on će se okidati i zvučati drugačije svaki put kada se generira iz FMOD audio pool-a, tako da će pored drastičnog smanjenja mjesta u igri, dobiti i na realnosti. Moguće je postaviti modulaciju visine tona, što u potpunosti daje prirodan psihoakustički efekt.

Iako je igra 3D, na izlazu iz ovog eventa isključuje se 3D modulator, jer postoje drugi zvukovi kojima se simulira prostornost.

Kao drugi event za ambijent, ubacuje se „Scatter event“ sa zvukovima ptica. Ovaj event u FMOD-u dozvoljava da se u jedan kontejner ubaci više zvukova, koji se prema postavljenim parametrima ponavljaju, ali u različitim visinama i periodima.

Ovaj event ima na sebi 3D envelope, jer igrač prolazi kroz šumu, a samim time i pored ptica, tako da emiteri (ptice) daju zvuk u skladu s položajem lika.

Zvukovi, lika, u vidu hodanja i trčanja se rade u jednom eventu. Prvo se dodaje „Single event“ i u njega stavlja zvuk hodanja po lišću, zatim „Multi event“ – event sličan „Scatter eventu“, samo što ovaj event uvijek loopa – tako da se dobiju sve tri kaegoriije kretanja – hodanje, trčanje i stajanje (tišina).

Zatim se ubacuje parametar zvan hodanje/trčanje/stajanje kako bi se zadale vrijednosti kojima programer mijenja status eventa i tranzicije između kontejnera.

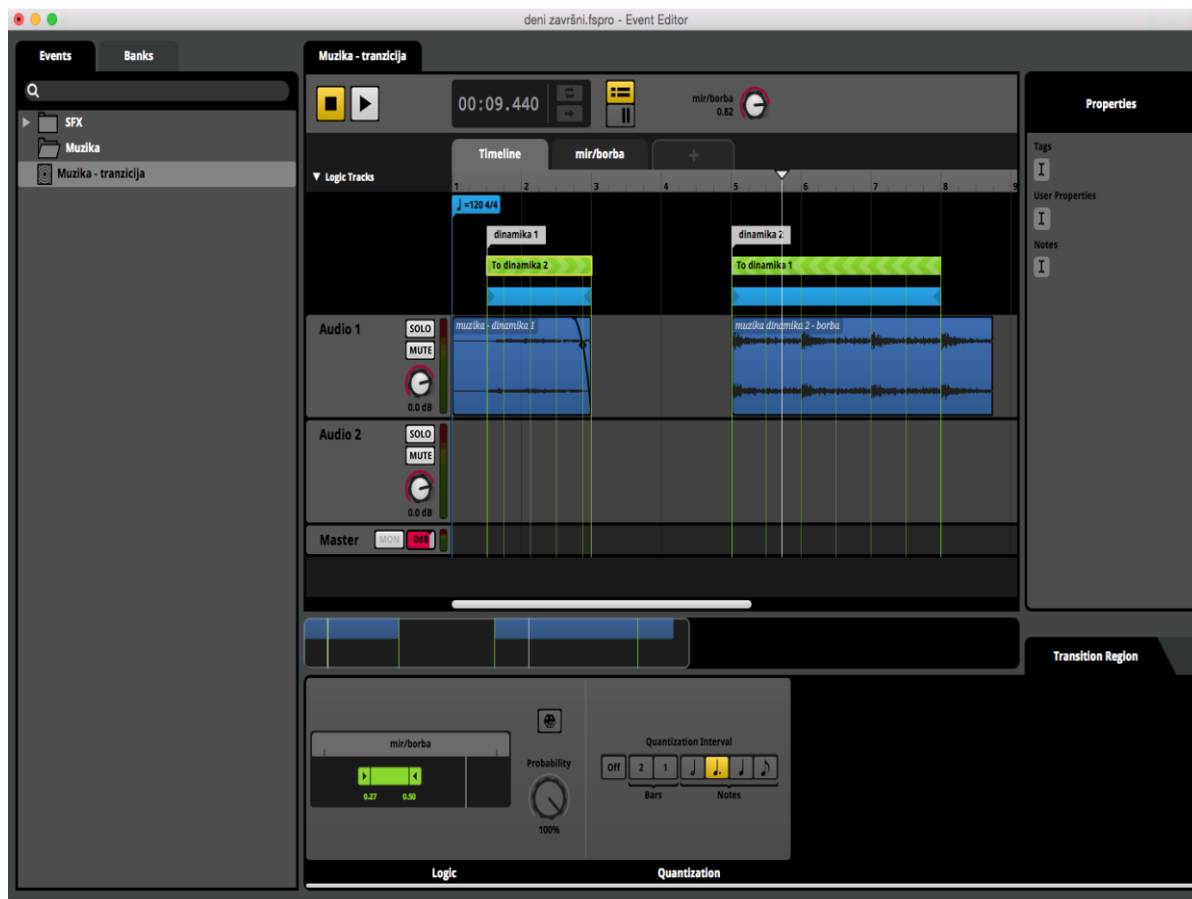
Zvukovi uzdaha i disanja, kao i zvukovi neprijateljevog uzvikivanja i bolnog krika su dodani kao simple event, svaki sa svojim dinamičkim i frekvencijskim sadržajem.

Zvukovi oružja su također ubačeni kao simple eventi, s time što, za realni doživljaj, oni preko „Send busa“ šalju signal side chain kompresoru na kanalima ambijenta, kako bi se ambijent utišao kada borba počne.



Slika 15:Banke i eventi

Zvukovi muzike stavljaju se u jedan event, kako bi se organiziralo njihovo ponavljanje i tranzicija. Prvo se zadaje tempo, jer su oba muzička loopa u tempu od 120 bpm. Zatim se zadaje parametar mir/borba/mir kako bi postojala tranzicija između ove dvije trake. Kada borba počne, mirni dron prestaje i tranzicija dovodi do druge trake, dinamičkih timpana. Prestankom borbe, parametar vraća zvuk mirnog drona. Bitno je napomenuti da je u tranziciji zadana kvantizacija, kako bi bila što blaža. Tranzicija se ne odvija u istom trenutku kada parametar dosegne vrijednost za tranziciju, nego tek poslije 1/8 note koju odsvira jedan od muzičkih kontejnera. Na izlazu iz ovog eventa isključuje se 3D envelope, kako bi muzika svirala konstantno i bez promjena u prostornom smislu. Kada su svi zvukovi ubačeni, dinamika izbalansirana, obrađuje se izlaz iz „Master outputa“ – on je uvijek postavljen na 5.1 surround opciju, tako da se lijepo čuje prostorni raspored zvukova uključenih u 3D sliku.



Slika 16: Event „Muzika – tranzicija“

Na izlazu iz master kanala stavlja se limitator, kako bi se blago ujednačila dinamika te spriječila preglasne promijene u dinamičko – kompleksnoj igri. Generalna glasnoća je oko -12 dbfs, što nije glasno poput miksa za muziku.

Poanta je da se svaki zvuk čuje i ne bude preklapljen preglasnom muzikom ili efektima, jer kompleksnost zvučne slike video igre čine upravo svi mali elementi koji se čuju i stvaraju ulaz u virtualni svijet za igrača. Kako bi se napravio build, a u isto vrijeme smanjilo mjesto za audio u igri, ne šalju se svi zvukovi u master bank. Rade se odvojene banke za karakter, muziku, ambijent neprijatelja itd. Tako se može odrediti prioritet zvukova, tj. koji zvukovi će se u konačnoj verziji kompresirati više, a koji manje. FMOD nudi tri opcije export formata, „Ogg vorbis“, „Pcm“ i „Fad pcm“. Ogg vorbis i fad PCM su kompresirani formati sa „Lossy enkoderima“, dok je „Pcm“ nekompresiran i ne gubi na kvaliteti tijekom eksporta, iako zauzima više mjesta.



Slika 17: Mikser (prikaz volumena zvukova)

Također, prije izbacivanja build-a, može se generirati GUID (engl. Globally unique identifier) za svaki zvuk, što je izuzetno bitno za programera.

Prije izgradnje builda, može se iskoristiti „Profiler“, koji točno govori koliko resursa zauzima build – zapravo to je potpuni batch test, koji govori o opterećenju rama, procesora i količini zauzetih audio kanala.

Na kraju, po izgradnji build-a, dobiju se tri datoteke (koje su priložene ovom radu) – Master bank build, strings i GUID.txt. Nakon izgradnje build-a, moguće je preslušati kompletan 3D rad u FMOD sandboxu.



## 6. ZAKLJUČAK

Kroz godine je zvuk za video igre jako napredovao, a pojavom middlewarea kao što je FMOD Studio, izrada zvuka je prešla na viši nivo. Korištenjem middlewarea štedi se vrijeme, digitalni prostor za audio u igri te dobiva mnogo dinamičniji i zanimljiviji audio za video igru. Međutim, za izradu kvalitetnog audija nije dovoljno imati samo dobar program, potrebna je upornost, predanost i kreativnost tima. Ideja je veoma bitna.

Audio za video igre može biti nelinearni, prilagođavajući i interaktivni, te se svaki audio znak dizajnira sam za sebe. Igrači su nepredvidivi i nemoguće je predvidjeti niz mogućnosti njihova kretanja ili poteza.

Ovim je radom prikazan proces izrade zvuka za video igre. Početak izrade započinje definiranjem zvukova, što pripada prvoj fazi razvoja, i zove se pred produkcija. Definiraju se zvukovi ambijenta poput zvukova šume i ptica, dijalози poput razgovora i dahtanja, muzike i zvučnih efekata. Zatim slijedi produkcija, što je druga faza, gdje se zvukovi snimaju te obrađuju u DAW-u (engl. Digital audio workstation) poput Cubase pro. U slučaju nemogućnosti korištenja studija, zvukove se može snimiti u prirodi ili nekom objektu, ovisno o vrsti zvuka koji dizajneru treba. Zvukovi se mogu snimati rekorderima, mikrofonomima, ili proizvesti sintisajzerom.

U DAW-u se radi frekvencijsko, dinamičko i efektivno procesiranje, kako bi se maknule neželjene frekvencije, bile previsoke ili preniske, da bi se zatim obradila dinamika i ukrašavanje zvuka.

Nakon toga slijedi post produkcija, odnosno integracija zvukova u middlewareu. Zvukovi se postavljaju u prostorni raspored, te se najčešće kreće od kreiranja ambijenta kako bi se stvorilo okruženje u koje se implementiraju ostali zvukovi. Kreiraju se odvojene banke u svrhu određivanja prioriteta zvukova, provjerava se količina resursa koju build zauzima, te se nakon toga izbacuje build.

Razvoj video igre je skup projekt, i kvaliteta ovisi o budžetu, poglavito ako se radi o većim igrama koje su rađene za neke od poznatih konzola poput Playstationa. Međutim, nekoliko kreativnih individualaca može napraviti veoma dobru i kvalitetnu igru s manjim budžetom.

## LITERATURA

### a) Knjige

- [1] Collins, K. *Game Sound: An Introduction to the History, Theory, and Practice of Video Game Music and Sound Design*, Pelitutkimuksen vuosikirja (2008).
- [2] Marks, A. *The complete guide to game audio: for composers, musicians, sound designers, and game developers*, Elsevie (2001).
- [3] Rumsey, F., & McCormick T. *Sound and Recording (sixth edition)*, Elsevier (2009.)
- [4] Sunier, J. *The story of stereo: 1881*. Journal of the Franklin Institute (1961).
- [5] Viers, R. *The Sound Effects Bible*, Michael Wise Production (2008).

### b) Članci

- [6] Academy, T. R. & Wing, E. (n.d.). *Digital Audio Workstation Guidelines for Music Production*, 1–40.
- [7] Anderson, D. J. (1995), *Digital audio compression system*, The Journal of the Acoustical Society of America, 98(3), 1265. <http://doi.org/10.1121/1.413454>, 15.05.2015.
- [8] Baccigalupo, C. (2003), *Design and Production of Audio Technologies for Video Games*, <http://www.iiia.csic.es/~claudio/papers/Baccigalupo-2003-MasterThesis-Section1.pdf>, 17.05.2015.
- [9] Bridgett, R. (2007), *Post-production sound : a new production model for interactive media*, 1(1), 29–39, <http://doi.org/10.1386/st.1.1.29/1>, 25.05.2015.

- [10] Charalampous, P., Economou, P., & Overview, F. (2013), *A Framework for the Development of Accurate Acoustic Calculations for Games*, 1–7.
- [11] Erkut, C., Hacıhab, H. (2013). *Rhythm Action Games: The Sonic Interaction Perspective*, 1–9.
- [12] Fish, J. B. (2003). *Interactive and Adaptive Audio for Home Video Game Consoles*. Audio, (July).
- [13] Hero, G. & Freaks, G. (2009), *Mapping Sounds Into Commands*. AES 35th International Conference, 11–14.
- [14] Hervás, A. S. (2010), *MIDI ( Musical Instrument Digital Interface )*, (Midi), 1–11.
- [15] Horsburgh, A. J., Mcalpine, K., & Clark, D. F. (2011), *A Perspective on the Adoption of Ambisonics for Games*, Audio Engineering Society Convention, 1–6
- [16] Leider, C., Mann D., Plazas D., Battaglia M. & Draper R. (2009), *The elBo and footPad : Toward Personalized Hardware for Audio Manipulation*, Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression, (Figure 1),  
[http://www.nime.org/proceedings/2009/nime2009\\_147.pdf](http://www.nime.org/proceedings/2009/nime2009_147.pdf), 21.05.2015.
- [17] Menzer, F. (2013), *Integrating custom 3D audio rendering into game sound engines*, 6–9, AES 49. International Conference, London, UK
- [18] Orfanidis, S. J. (1997). *Digital parametric equalizer design with prescribed Nyquist-frequency gain*, Journal of the Audio Engineering Society, 45(6),  
<http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=7854>, 15.05.2015.
- [19] Peerdeman, P. (2006). *Sound and Music in Games*, And Haugehåttveit, O, (April), 1–18,  
[http://www.peterpeerdeman.nl/vu/ls/peerdeman\\_sound\\_and\\_music\\_in\\_games.pdf](http://www.peterpeerdeman.nl/vu/ls/peerdeman_sound_and_music_in_games.pdf),  
19.05.2015.

- [20] Roland Corporation & MIDI Manufacturers Association (2009), *An Introduction to MIDI*.
- [21] Sanders, T., & Cairns, P. (2010), *Time perception, immersion and music in Videogames*, <http://eprints.whiterose.ac.uk/68180/>, 14.05.2015.
- [22] Went, K., Huiberts, S., & Tol, R. Van. (2009). *Game Audio Lab-An Architectural Framework for Nonlinear Audio in Games*. AES International Conference: Audio for Games, 1–5, <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=15169>, 14.05.2015.
- [23] Young, D. M., *The Future of Adaptive Game Music :The Continuing Evolution of Dynamic Music Systems in Video Games*. AES 49th International Conference, (2013).

### c) Priručnici

- [24] Banerjee, S. (2012). *The compression Handbook (Third edition)*, [https://starkeypro.com/pdfs/Compression\\_Handbook.pdf](https://starkeypro.com/pdfs/Compression_Handbook.pdf), 15.05.2015.
- [25] Manual U. (2010). *FMOD DESIGNER*, [http://www.stephanschutze.com/uploads/3/1/0/6/3106267/fmod\\_designer\\_2010\\_v1.5\\_final.pdf](http://www.stephanschutze.com/uploads/3/1/0/6/3106267/fmod_designer_2010_v1.5_final.pdf), 28.05.2015.
- [26] Owsinski, B. (1999). *The Mixing Engineer's handbook*, artistpro
- [27] Owsinski, B. (2006). *The Mixing Engineer's Handbook, Second Edition*, Thomson Course Technology PTR.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Pulsirajuća sfera koja stvara sferne valove.....	4
Slika 2. Isječak iz igre „Space Invaders“.....	5
Slika 3. Digitalni audio .....	6
Slika 4. MIDI.....	6
Slika 5. Inspector.....	9
Slika 6: Isječak igre „Far Cry 1“ s uzorom na projekt.....	10
Slika 7: Uzorak maskiranja centriran na 410 herca.....	14
Slika 8: EQ filtri - low pass, high pass, band pass, band stop.....	15
Slika 9: Q faktor, širina frekvencijskog pojasa.....	16
Slika 10: Dijagram ulaznog signala kompresije.....	17
Slika 11: I/O funkcija slušnog uređaja s limitatorom.....	10
Slika 12: Put zvuka od rashladnika do mikrofona.....	20
Slika 13. Cubase pro 8 projekt (prikaz audio traka).....	29
Slika 14: konzola sa miksanjem (prikaz efekta i traka).....	31
Slika 15:Banke i eventi.....	34
Slika 16: Event „Muzika – tranzicija“ .....	35
Slika 17: Mikser (prikaz volumena zvukova).....	36

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Podržani formati.....	8
Tablica 2: Izrazi u DAW platformama (Definicije i sličnosti).....	11
Tablica 3: Značenje znakova iz formule.....	21
Tablica 4: Objekti FMOD studija.....	22